

# Marktanalyse

## Mikroalgenproduktion



**Algen-Parks Aktiengesellschaft**  
Koenigsallee 7, D-14193 Berlin-Grunewald

November 2013

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Was sind Mikroalgen:</b> .....	1
<b>2. Wie werden Mikroalgen industriell hergestellt:</b> .....	3
2.1 Open Ponds .....	3
2.2 Photobioreaktoren (PBR) .....	4
<b>3. Ziele der Algenproduktion</b> .....	6
4.1. Entwicklung der Algenproduktion: .....	7
4.2 Algenproduktion und Ziele nach Regionen:.....	8
4.2.1 Asien: .....	8
4.2.2 Afrika: .....	8
4.2.3 Australien: .....	8
4.2.4 Amerika: .....	8
4.2.5 Israel: .....	9
4.2.6 Europa:.....	9
<b>5. Aufarbeitung</b> .....	11
<b>6. Die einzelnen Märkte nach Produktart:</b> .....	12
6.1 Biodiesel: .....	12
6.2 Farbstoffe:.....	13
6.3 Fettsäuren:.....	14
6.4 Nahrungsergänzungsmittel (NEM) .....	14
6.5 Sonstige.....	15
6.6. Fazit:.....	16
<b>7. Mitbewerber:</b> .....	16
7.1 Novagreen .....	16
7.2 Subitec.....	16
7.3 IGV .....	17
7.4 Roquette .....	17

## 1. Was sind Mikroalgen:

Mikroalgen (wissenschaftlich auch Phytoplankton von phyto = Pflanze, planktos = umherziehend) stellen keine echte Verwandtschaftsgruppe dar, der Begriff wird häufig als Sammelbegriff verwendet für alle im Wasser lebenden, ein- bis wenigzelligen, mikroskopisch kleinen Lebewesen, die Photosynthese betreiben. Dazu gehören vor allem Kieselalgen, Grünalgen, Goldalgen, Dinoflagellaten und Cyanobakterien (Blaualgen).

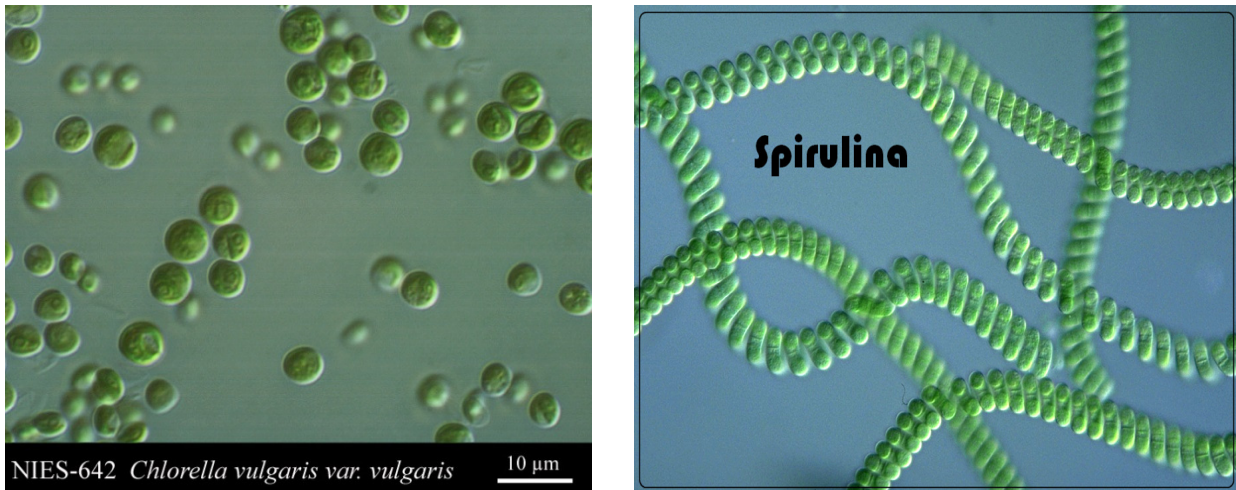


Abb. 1: Die bekanntesten, industriell genutzten Algen. Links: *Chlorella vulgaris*, rechts *Spirulina platensis*

Durch die Photosynthese sind Mikroalgen in der Lage, genauso wie unsere Landpflanzen, nur von Sonnenlicht, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), einigen Spurenelementen und Wasser zu leben und ihre Zellen aufzubauen. Durch diese Eigenschaft bilden Mikroalgen die Grundlage aller marinen Nahrungsnetze und kommen damit dann mehr oder weniger direkt auch auf unseren Teller.

Laut Schätzungen gibt es rund 300.000 – 400.000 Algenarten. Nur einige wenige sind bislang bekannt und noch weniger von ihnen werden bisher kommerziell genutzt. Wer sich aber näher mit dem Thema Algen befasst, kann erkennen, dass es zahlreiche Einsatzmöglichkeiten gibt und sie reich an unterschiedlichsten Inhaltsstoffen sind. Neben Kohlenhydraten (Zucker), Lipiden (Fetten) und Proteinen (Eiweißen) kommen in Mikroalgen auch Vitamine, Mineralstoffe, Pigmente (Farbstoffe) und Spurenelemente vor. Die Zusammensetzung des Inhaltsstoffspektrums ist immer abhängig von der jeweiligen Algenart und den Umweltbedingungen in denen diese wächst.

Mikroalgen sind beispielsweise reich an Kohlenhydraten, Fettsäuren, Steroiden und Vitaminen. Diese werden auf vielfältigste Weise, z. B. als Nahrungsergänzungen („Spirulettchen“), in Kosmetikprodukten oder in der Industrie verwendet.

Aus Mikroalgen isolierte Feinchemikalien sind: mehrfach ungesättigte Fettsäuren, Pigmente (z.B. Astaxanthin > Umsatz im Jahr 2009 von 25 Mio. US\$), natürliche Farbstoffe und biologisch aktive Substanzen (für Medikamente, Antibiotika).

Die Pigmente in den Algen können künftig eine umweltfreundlichere Alternative für Tinte oder Kosmetik sein (z.B. roter Lippenstift mit Kieselalgen)<sup>1</sup>, da sie biologisch besser abbaubar sind. Kommerzialisierbare Pigmente aus Mikroalgen sind:  $\beta$ -Carotin und Astaxanthin.  $\beta$ -Carotin (Provitamin A) wird in

<sup>1</sup> [www.presstext.com/news/20071012002](http://www.presstext.com/news/20071012002)

der Lebensmittelindustrie als Zusatzstoff verwendet und Astaxanthin fördert die Gesundheit der Augen, des Herz-Kreislauf- und des Nervensystems.

Im Abwassersektor können Algen zum Binden von ausgeschwemmten Düngemitteln eingesetzt und selbst wieder als Algendünger verwendet werden. Wie durch andere Pflanzen auch, kann mit ihrer Hilfe Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) gebunden werden. Zudem sterben krankheitserregende Bakterien in dem Milieu, das die Algen während ihres Wachstums produzieren, schnell ab, so dass Mikroalgen zur Trinkwasserdesinfektion im ländlichen Sektor geeignet sind. (Naturnahe Abwasserdesinfektion durch nachgeschaltete Algenteiche, Patent DE102006020917).

Cyanobakterien besitzen die Fähigkeit Stickstoff zu fixieren und sind wichtige biologische Düngemittel für z.B. die Reisproduktion.

Andere Mikroalgen produzieren Polymere, die Wasser speichern oder Partikel zurückhalten und die daher für die Landwirtschaft, besonders in wasserarmen Gebieten, nützlich sind. Außerdem werden dadurch Erosionsprozesse vermieden.

Mikroalgen sind in der Nahrungskette die primäre Quelle für mehrfach ungesättigte Fettsäuren. Fisch und Fischöl, die dem Menschen als Quelle für Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren dienen, haben einen charakteristischen Fischgeruch und unangenehmen Geschmack und haben hohe Aufbereitungskosten. Außerdem ist durch schwindende Fischbestände mit einer Verknappung zu rechnen.

Im Gegensatz dazu, haben extrahierte Omega-3-Ester aus Mikroalgen eine höhere Qualität und Stabilität. DHA (Dehydroascorbinsäure) beispielsweise ist eine essentielle Omega-3-Fettsäure, die im Kindesalter wichtig für die Gehirnentwicklung ist und Produkten des Milchersatzes zugefügt wird. (Der Gesamtumsatz für Babynahrung weltweit liegt bei ca. 10 Mrd. US\$ im Jahr und bietet einen wichtigen Markt für Mikroalgenprodukte)<sup>2</sup>

Doch Mikroalgen können noch mehr: In getrockneter und gemahlener Form fungieren sie als Schwermetallfilter, die bei der Reinigung von Industrieabwässern effektiver als Aktivkohle säubern. Darüber hinaus, gehen Pflanzenbiochemiker davon aus, dass Mikroalgen biologisch wirksame Substanzen produzieren, die von keinem anderen Lebewesen erzeugt werden. So wurden bereits Wirkstoffe isoliert, die Bakterien, Viren oder Pilze abtöten. Da von den geschätzten 280.000 bis 400.000 Algenarten weltweit bislang nur 40.000 Arten bekannt sind, von denen wiederum nur wenige 100 biochemisch charakterisiert sind, stellt die medizinische Forschung ein weiteres attraktives Aufgabenfeld für Mikroalgen dar. Demnach sind bereits heute 70 Substanzen bekannt, die das Wachstum von Krebszellen hemmen. Von mindestens genauso großem Interesse sind die aquatischen Mikroorganismen für die Herstellung von Biotreibstoffen, was sich jedoch hinsichtlich der niedrigen Energiepreise im Moment wirtschaftlich noch nicht auszahlt.

---

<sup>2</sup> Spolaore; 2006

## 2. Wie werden Mikroalgen industriell hergestellt:

Als photosynthetisch-aktive Organismen lassen sich Mikroalgen recht einfach kultivieren, da sie sich mit wenigen Nährstoffen, Wasser, Kohlendioxid, Licht und Wärme begnügen.

Für die Herstellung von Biomasse aus Mikroalgen im industriellen Maßstab finden derzeit zwei Haupttechnologien Anwendung, die als offene einerseits und als geschlossene Systeme andererseits klassifiziert werden. Zu den offenen Zuchtanlagen gehören großflächige Open Ponds sowie kleinere, etwas energieintensivere Raceway Ponds (Abb. 2). Dahingegen stellen Photobioreaktoren (Abb. 3) geschlossene Systeme dar.

### 2.1 Open Ponds

Open Ponds sind im Wesentlichen als flache Bassins mit einer Wassertiefe von ca. 20 cm angelegt. In Abhängigkeit der Architektur wird dabei in natürliche und künstliche „Gewässer“ unterschieden. Während im ersten Fall beispielsweise Binnenseen, Meeresbuchten oder auch Salzwasserteiche in Wüsten die Basis der Produktionsanlagen bildet, stellen künstliche Seen oder Container die Alternative dar.

Vorteile dieser Kultivierungsmethode sind die einfache Konstruktion und der preisgünstige Betrieb allerdings muss für eine maximale Produktivität in Open Ponds eine Reihe von biologischen und biotechnologischen Voraussetzungen erfüllt sein. Und genau hier treten auch die Nachteile des offenen Systems zu Tage. So werden die Betreiber nicht nur mit dem kontinuierlichen Verlust der Wachstumsfaktoren Wasser (Verdunstung) und Kohlendioxid (Diffusion in die Atmosphäre) konfrontiert, sondern auch mit jahreszeitbedingten Schwankungen der Wärme- und Lichtverhältnisse. Dazu kommen der enorme Platzbedarf und die Tatsache, dass selbst die flache Bauweise nicht verhindern kann, dass Mikroalgen in den unteren Schichten nur unzureichend mit dem limitierenden Wachstumsfaktor Licht versorgt werden. Darüber hinaus droht den offenen Becken beständig die Gefahr einer Kontamination mit Pestiziden, Schwermetallen, schnell-wachsenden Bakterien oder anderen Algenarten.

Diese Nachteile limitieren mögliche Einsatzorte dieser Technologie auf Regionen in denen die Jahresdurchschnittstemperatur mehr als 15°C beträgt.

Ein weiterer Nachteil ist die Limitierung auf wenige Algenarten die in offenen Systeme produziert werden können, denn nur durchsetzungsfähige Algenkulturen oder Algen die ohnehin im Produktionsgebiet beheimatet sind, können sich gegen die ständigen Kontaminationen von Fremdalgen behaupten. Trotz vielfältiger Maßnahmen sind Open Ponds und Raceways zwar immer noch die billigsten Methoden Mikroalgen herzustellen, aber die hergestellten Mikroalgen sind in der Regel stark verunreinigt, so dass sie für die Mehrzahl der lukrativeren Märkte nicht nutzbar sind.



Abb. 2: Raceway Reaktoren: 600 ha Earthrise Open Pond Anlage in Amerika

## 2.2 Photobioreaktoren (PBR)

Im gemäßigten Klima Europas, welches für offene Systeme in der Regel ungeeignet ist, werden vorwiegend geschlossene Systeme in Form von Photobioreaktoren für die Kultivierung der leistungsfähigen aquatischen Organismen verwendet. Interessanterweise bilden die Vorteile (geringer Kostenaufwand) und Nachteile (mangelnde Kontrolle der Umweltbedingungen) von Open Ponds die Schwächen und Stärken von Photobioreaktoren. Diese stehen in verschiedenen, stets geschlossenen Ausführungen zur Verfügung. So sind neben Röhren- und Schlauchsystemen auch Kessel-, Flachplatten- und Dünnschichtreaktoren verbreitet. Trotz unterschiedlicher Bauweisen haben alle Photobioreaktoren eins gemeinsam: Die enthaltenen Mikroalgenkulturen können von der äußeren Umgebung isoliert und damit kontrolliert gezüchtet werden. Im Gegensatz zu den Open Ponds ist also das Risiko für Verunreinigungen erheblich reduziert und folglich massiven Produktionsausfällen entgegengewirkt. Außerdem beanspruchen geschlossene Systeme weniger Platz und die Verluste von Wasser und Kohlendioxid sind gering. Außerdem können geschlossene Systeme praktisch überall genutzt werden und es kann praktisch jede Alge in ihnen kultiviert werden, was es ermöglicht auch Algen mit marktrelevanten Inhaltsstoffen herzustellen, die z.B. in Open Ponds nicht kultiviert werden können. Außerdem ist die Ausbeute in geschlossenen Systemen deutlich höher als in Open Ponds.

Aber diese Überlegenheit hat ihren Preis: Im Vergleich zu den offenen Systemen ist die Errichtung und der Betrieb kostenintensiver.



Abb.3: PBR, geschlossenes Foliensystem

Die von uns genutzten, modular aufgebauten Photobioreaktoren sind speziell auf die Mikroalgen zugeschnittene PET-Schlauchsysteme, die an Metallgestellen befestigt sind (Abb. 3). Die Schläuche bestehen aus lebensmittelechten Folien, die durch integrierte Leitungen über eine Pumpe mit CO<sub>2</sub> in Form von Luft versorgt werden. Diese Belüftung sichert gleichzeitig die Durchmischung der Algen, um eine gleichmäßige Nährstoffverteilung zu gewährleisten. Über Nährstoff und Ernteleitungen werden die Algen abgepumpt und über einen Sammelbehälter in eine Zentrifuge gepumpt. Die Zentrifugentechnik ist patentiert und wurde speziell für die Algenernte entwickelt. Durch diese schonende Erntetechnik bleiben die Algenzellen intakt und somit länger haltbar. Die Algenrohmasse besitzt nach der

Zentrifugation eine extrazelluläre Restfeuchte von 2-3% und kann verpackt oder weiterverarbeitet werden. Durch die Nutzung von recycelbaren PET-Schläuchen anstatt der sonst üblichen Nutzung von Glas, liegen die Investitionskosten unseres Reaktorsystems weit unter den Kosten der sonst üblichen Reaktorsysteme, ohne dabei bei der Reinheit Kompromisse einzugehen. Durch ein zusätzlich, auf erneuerbaren Energien beruhendes Energiekonzept und modernste Klimatisierungs- und Erntetechnik, kann durch Verwendung dieser Reaktoren eine ökologische und ökonomische Produktion von Biomasse und hochwertigen Rohstoffen durchgeführt werden.

**Tabelle 1: Gegenüberstellung Open Pond vs. PBR**

	Open Pond	PBR
Verkeimungsgefahr	Hoch	Niedrig
volumetrische Produktivität	Niedrig	Mittel bis Hoch (je nach System)
Zelldichten	Sehr niedrig	Mittel bis Hoch (je nach System)
Energieeintrag	Niedrig	Mittel bis Hoch (je nach System)
Investitionskosten	Niedrig	Mittel bis Hoch (je nach System)

### 3. Ziele der Algenproduktion

In den Mikroalgen liegt ein sehr großes biotechnologisches Potenzial, das bisher noch wenig erforscht ist. Von den etwa 40.000 bekannten Spezies werden derzeit weniger als 10 wirtschaftlich genutzt<sup>3</sup>.

Die enormen Stoffwechsellleistungen von Mikroalgen implizieren zahlreiche Einsatzgebiete mit einem hohen Marktpotenzial (siehe Abb. 4):

- ☐ hochwertige Nahrungsmittel oder Futter- und Lebensmittelzusatzstoffe,
- ☐ Carotinoide und andere Farbpigmente,
- ☐ essentielle Fettsäuren, Aminosäuren und Vitamine,
- ☐ Enzyme und andere Proteine,
- ☐ antibiotisch, antiviral und andere pharmakologisch wirksame Stoffe,
- ☐ Energie aus Algenbiomasse (Biogas),
- ☐ CO<sub>2</sub>-Fixierung und Recycling (in Biogasanlagen und Kraftwerken),
- ☐ H<sub>2</sub>-Produktion und
- ☐ N<sub>2</sub>-Fixierung (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Produktion).

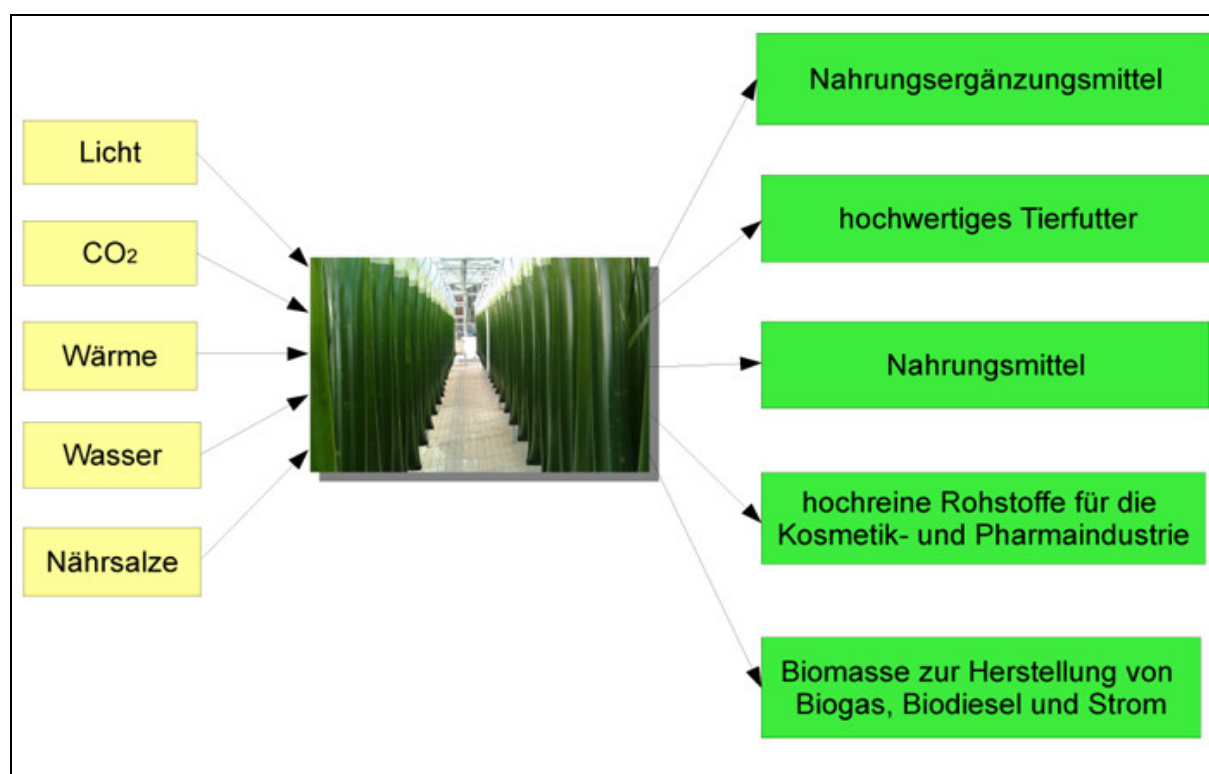


Abb.4: Übersicht über die möglichen Nutzungswege von Mikroalgen und die dafür nötigen Grundstoffe.

<sup>3</sup> Berg-Nilsen 2006



Die stoffliche Nutzung von Mikroalgen wird nach Expertenmeinung weiter steigen. In den drei Marktsegmenten „Ernährung“, „Futter“, „Kosmetika“ werden zirka 35.000 Tonnen Algentrockenmasse verarbeitet. Mehr als 85 Prozent der Biomasse fließen in die Anwendungsbereiche „Funktionalisierte Lebensmittel“ und „Nahrungsergänzungsmittel“. Beide Märkte haben jeweils ein geschätztes Umsatzvolumen von etwa 280 Millionen US-Dollar.

Für die kommenden Jahre stehen die Chancen gut, dass Mikroalgen mehr und mehr stofflich genutzt werden, obwohl auch im Energiesektor ihre Bedeutung wächst. Mikroalgen haben als Rohstofflieferant in verschiedenen Märkten ihren Platz gefunden – als Gesamtbiomasse oder als hochwertige Extrakte.<sup>4</sup>

#### 4.1. Entwicklung der Algenproduktion:

**1960er Jahre:** die Massenproduktion von Spirulina und Chlorella startet. Rund 50 Tonnen stellten Algenzüchter (z.B. Fa. Nihon Chlorella; Taiwan) damals in großen offenen Wasserbecken pro Jahr her.<sup>5</sup>

**1980:** über 46 Mikroalgen Fabriken sind in Asien zu finden<sup>5</sup>.

**1990er Jahre:** Die Mikroalgenproduktion ist gegenwärtig vor allem in Asien eine etablierte Industrie (Bsp. China 78 Produzenten von Spirulina, Japan 5 Großproduzenten von Chlorella, Taiwan 11 Produzenten von Spirulina sowie Chlorella<sup>6</sup>).

**2004:** Die Jahresproduktion an Mikroalgenbiomasse beträgt schon ca. 5000t/Jahr trockene Biomasse mit einem jährlichen Umsatz von 1,29 Mrd. US\$. Tendenz steigend<sup>7</sup>.

**2007:** Die Jahresproduktion von Mikroalgen betrug im Jahr 2007 etwa 5.500 Tonnen. Damit wurde ein Umsatz von rund 1,25 Mrd. US\$ erzielt<sup>8</sup>.

**2008:** Mehr als 70 Firmen weltweit produzieren allein über 2000t/a Trockenmasse *Chlorella* mit einem Umsatz von 40 Milliarden US\$ (inkl. Produkte)<sup>5</sup>.

Die Algen die hauptsächlich für verschiedene Nahrungsmittel bzw. Nahrungsergänzungsmittel produziert werden sind *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella* und *Haematococcus*. Ungefähr die Hälfte dieser Produktion findet in China statt, der Rest verteilt sich auf Japan, Taiwan, USA, Australien und Indien, sowie einige kleiner Produzenten in einigen anderen Ländern<sup>9</sup>.

**2010:** Bereits 8000 t Mikroalgen werden pro Jahr erzeugt, mit denen ein Absatz von ca. 6,1 Mrd. US\$ erzielt wird. Die Mikroalgenproduktion ist gegenwärtig vor allem in Asien eine etablierte Industrie. Hier kommen Mikroalgen auch in integrierten Aquakulturen zum Einsatz und gewährleisten ein Nährstoffrecycling<sup>10</sup>.

<sup>4</sup> BIOPRO Baden-Württemberg GmbH zu lesen auf „Das Biotechnologie und Life Sciences Portal Baden-Württemberg“ vom 25.02.2013

<sup>5</sup> Ulf Karsten Institut für Biowissenschaften Rostock 27.05.2008

<sup>6</sup> Lee; 1997

<sup>7</sup> O. Pulz; 2004

<sup>8</sup> GIT Laborportal; Gerd Klöck Professor für Bioverfahrenstechnik am Studiengang ISTAB, Hochschule Bremen; 1.7.2011

<sup>9</sup> Dr. John R. Benemann; 2008

<sup>10</sup> Umweltbundesamt Dessau-Roßlau vom 26.08.2010

**2013:** Mittlerweile werden jedes Jahr mehr als 12.000 Tonnen Biomasse alleine aus *Spirulina* hergestellt. Fast 70 Prozent davon in China, Indien und Taiwan<sup>4</sup>.

## 4.2 Algenproduktion und Ziele nach Regionen:

Der Großteil der zurzeit weltweit produzierten Algen kommt aus Ostasien, Australien und Nordamerika doch auch in Europa und Afrika werden jetzt schon kleiner Mengen produziert.

Die Ziele der Produktion sind je nach Kontinent verschiedenen und stehen in Zusammenhang mit politischen Zielsetzungen, vorhandenen Märkten und Produktakzeptanz vor allem aber auch mit der Art der Herstellung und damit einhergehender Reinheit und Art der produzierten Algen.

### 4.2.1 Asien:

In Asien besteht der Großteil der produzierten Algen aus *Chlorella* und *Spirulina*, die hauptsächlich als Nahrungsmittel bzw. Nahrungsergänzungsmittel auf den asiatischen und amerikanischen Markt oder als Rohware für den amerikanischen und europäischen Markt verkauft werden. Aufgrund der Art der Produktion in Open Ponds ist die Produktion hauptsächlich auf diese Algen festgelegt und aufgrund der mangelnden Reinheit eignen sich diese Algen nicht ohne weitere Reinigungsschritte für Anwendungen in der kosmetischen oder pharmazeutischen Industrie. Die Produktakzeptanz im asiatischen Raum ist sehr hoch.

### 4.2.2 Afrika:

Die Produktion von Mikroalgen wird hier fast ausschließlich im kleinen, lokalen Maßstab durchgeführt. Die Mikroalgen, produziert in kleinen Open Ponds oder Race Ways, dienen hier ausschließlich der Nahrungsmittelproduktion. Fast alle Projekte werden hier von der Intergovernmental Institution for the Use of Micro-Algae Spirulina Against Malnutrition (IIMSAM), eine gemeinnützigen UN Institution, geplant und aufgebaut und lokal durch die entsprechenden Dorfbewohner betrieben.

### 4.2.3 Australien:

Hier werden *Chlorella* und *Spirulina* im großen Maßstab in Raceway Ponds hergestellt und als Nahrungsergänzungsmittel auf dem amerikanischen und europäischen Markt vertrieben.

Diesbezüglich gelten die salzreichen Seen um Whyalla und Hytt Lagoon in Australien als derzeit größte offene Algenproduktionsanlagen.

Neuerdings steigt auch das Interesse an der Mikroalgen Produktion zur Biodiesel Herstellung.

### 4.2.4 Amerika:

Mikroalgen Produktion im großen Maßstab. Ursprünglich nur *Chlorella* und *Spirulina* als Nahrungsergänzungsmittel für den amerikanischen Markt, mittlerweile auch Produktion anderer Arten für die amerikanische Kosmetik Industrie.

Die Kultivierung in den Raceway Ponds der Firmen Earthrise Nutritionales LLC (Kalifornien) und Cyanotech Corp. (Hawaii) macht dabei den Hauptteil der kommerziellen Mikroalgenerträge in den USA aus.

Zusätzlich starke Bemühungen die Produktion großer Mengen Mikroalgen zur Herstellung von Biodiesel zu etablieren.

#### 4.2.5 Israel:

Eine weitere offene Großzuchtanlage, die sich als Ansammlung von 28 kleinen und großen Seen auf insgesamt 100.000 m<sup>2</sup> erstreckt, wird durch die Nature Beta Technologies Ltd. in Eilat Israel betrieben. Zusätzlich gibt es eine große geschlossene Anlage zur Astaxanthin Herstellung in Negev.

#### 4.2.6 Europa:

##### Frankreich:

In den landwirtschaftlichen Gebieten gibt es einen starken Trend sog. Smart Microfarms zu bauen. Dabei handelt es sich um kleine Open Ponds die eine *Chlorella* oder *Spirulina* Zucht ermöglichen. Die Produktion ist in der Regel für den Eigenbedarf oder für den lokalen Vertrieb von Nahrungsmitteln bzw. Nahrungsergänzungsmittel gedacht.

##### Spanien:

Starke Bemühungen die Produktion von Mikroalgen in geschlossenen Reaktoren für die Biodiesel Herstellung zu etablieren.

##### Deutschland/Niederlande:

Hier wird hauptsächlich in Photobioreaktoren produziert. Die Technologie ist hier noch nicht im großen Maßstab etabliert. Einige kleine geschlossene Anlagen (ca. 1 – 2 ha) produzieren hauptsächlich *Chlorella* als Nahrungsergänzungsmittel oder als Rohstoff für die kosmetische Industrie. Viele kleine Pilotprojekte mit verschiedenen Reaktordesigns laufen. Ziel der Forschung und Entwicklung ist hier die Nutzung der höherwertigen Inhaltsstoffe und die evtl. Nutzung der Restbiomasse als Energieträger (Biogas, oder Biodiesel).

Die kommerzielle Herstellung von *Chlorella vulgaris* im größeren Maßstab erfolgt in Deutschland nach einem patentrechtlich geschützten und lizenzierten Verfahren durch die Bioprodukte Prof. Steinberg Produktions- und Vertriebs GmbH & Co. KG. Die Produktionsanlage ist seit Juni 2000 in Klötze, Sachsen-Anhalt, in Betrieb. Die Produktion erfolgt in Glasrohren mit einer Gesamtlänge von 500 km. Das photoaktive Volumen beträgt ca. 600 m<sup>3</sup>. Für die Einstellung der günstigsten Temperatur sorgt die Anordnung der Module in einem Gewächshauskomplex von 1,2 ha Gesamtfläche sowie geeignete Heiz- bzw. Kühlvorrichtungen.

Als Lichtquelle dient ausschließlich das Sonnenlicht, auch das diffuse Tageslicht im Winterhalbjahr kann für ein Wachstum ausreichen. Die Biomasse wird aus einem Teilstrom durch Hochleistungszentrifugen ab zentrifugiert. Das klare Zentrifugat wird in die Anlage zum Verdünnen der Kultivationslösung zurückgeführt, während die breiige Biomasse in einem Sprühtrockner schonend bis auf eine Restfeuchte von weniger als 5 % getrocknet sowie anschließend tablettiert wird (Produktionskapazität 130 t/a)<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Produkte und Anwendungen der Mikroalgenbiotechnologie sowie die Nachhaltigkeit der phototrophen Biotechnologie; Prof. Dr. Carola Griehl, Prof. Dr. Wolfgang Loettel, Prof. Dr. Otto Pulz und Dr. habil. Martin Kerner

**Tabelle 2: Kommerzielle Mikroalgenproduktion und deren Absatzmöglichkeiten<sup>12</sup>**

Alge	Produkte und relevante Inhaltsstoffe	Einsatzgebiete	Produzenten	TS/a weltweit
Arthrospira (Spirulina) spp. Cyanobacterium  isb. Spirulina platensis, Spirulina pacifica	- Algenbiomasse mit hohem Proteingehalt - Phycobiliproteine - Phycocyanin	- Nahrungsergänzungsmittel - Futtermittel, Aquakulturen - Kosmetik - immunologische Diagnostik	China, Indien, USA, Myanmar, Japan, Mexiko, Taiwan - größter Produzent: Hainan Simai Enterprises mit 200t Algenpulver, China - größte Anlage: Earthrise Nutritionals mit Farm von 440 000 m <sup>2</sup> , USA - weitere Firmen: Cyanotech, USA; Spirulina Factory, China; Nanbao Resin, Taiwan; etc. [*]	3000 t
Chlorella spp. Chlorophyta  isb. Chlorella vulgaris, Chlorella pyrenoidosa	- Algenbiomasse mit Proteingehalt von 40-45% - Polysaccharide isb. $\beta$ -1,3-Glucan	- Nahrungsergänzungsmittel - Futtermittel, Aquakulturen - Kosmetik - immunologische Diagnostik	Taiwan, Deutschland, Japan - größter Produzent: Chlorella Manufacturing and Co. mit 400t, Taiwan - steigende Produktion: Bioprodukte Prof. Steinberg GmbH mit 130-150t, BRD - weitere Firmen: Nikken Sohonsa Corporation, Japan; Chlorella Industry mit 300t/a, Japan; Yaeyama Syokusan mit 250t/a, Japan; Eastern - Sea Chlorella mit 80t/a, Taiwan; - Subitec GmbH, Deutschland; ect. [*] - Jahresabsatz: 38 Mrd. US\$	2000 t
Dunaliella spp Chlorophyta  isb. Dunaliella salina, Dunaliella bardowil	- Algenbiomasse - Carotinoidmischung - $\beta$ -Carotin (bis zu 14%TS)	- Nahrungsergänzungsmittel - Futtermittel - Kosmetik	Australien, Israel, USA, China - größter Produzent: Cognis Nutrition and Health (früher Western Biotechnology & Betatene) mit 20t/a, Australien - weitere Firmen: Nature Beta Technologies mit 4t/a, Israel; AquaCarotene, Australien; Cyanotech, Hawaii; Tianjin Lantai Biotechnology, China; Parry Agro industries, Indien; ect. [**]	1200 t
Nostoc sp. Cyanobacterium	- Algenbiomasse	- Nahrungsergänzungsmittel - Bio-Düngemittel	Asien	600 t
Aphanizomenon flos-aquae Cyanobacterium	- Algenbiomasse	- Nahrungsergänzungsmittel	USA - aus Upper Klamath See, USA	500 t
Haematococcus pluvialis Chlorophyta	- natürliches Astaxanthin (bis zu 4%TS als Ester) in reiner Form und als Algenpulver	- Futtermittel, Aquakulturen - Antioxidans - Pharmaka - Kosmetik - Nahrungsergänzungsmittel (USA)	Indien, USA, Israel, Japan, Deutschland - Firmen: Algatech, Israel; Cyanotech 15t/a [**], Hawaii; Mera Pharmaceuticals 7t/a [**], Hawaii; BioReal Inc., Schweden; Parry Nutraceuticals, Indien; Fuji Chemicals Industry, Japan; Fuji Health Science, Hawaii/USA, Subitec GmbH, Deutschland	300 t
Cryptocodinium cohnii Dinophyta	- essentielle Fettsäuren; PUFA - DHA-reiches Öl aus Algenbiomasse - 40-50% DHA	- Nahrungsergänzungsmittel - Futtermittel	USA - Martek Biosciences Corporation, USA	240 t
Schizochytrium sp. Heterokontophyta	- essentielle Fettsäuren; PUFA - DHA- und EPA-reiches Öl	- Nahrungsergänzungsmittel - Futtermittel	USA - Omega Tech, LignoTech, USA	10 t
Chlamydomonas reinhardtii Chlorophyta	- Algenbiomasse - Gewinnung rekombinanter Proteine	- Futtermittel - Biodünger	Indien - Phycotransgenics, Indien; Algal Biotechnology	-
Odontella aurita Bacillariophyta / Heterokontophyta	- Algenbiomasse - DHA- und EPA-reiches Öl	- Nahrungsergänzungsmittel - Futtermittel - Pharmaka - Kosmetik	Frankreich - Alphabiotec, Soproma, Innovalg [Western France's Newsletter]	-

<sup>12</sup> verändert nach Spolaore 2006, Walker et al. 2005, Pulz et al 2004, Lee 1997 [\*], Del Campo 2007[\*\*]

## 5. Aufarbeitung

Die Aufarbeitungskosten von Wertstoffen aus der Produktion von Mikroalgen hängen zum einen vom jeweiligen Produkt und den Anforderungen an dessen Reinheit und zum anderen von der Zelldichte und Zellwandbeschaffenheit ab. Eine hohe optimierte Zelldichte mit gleichzeitig hoher Konzentration am gewünschten Wertstoff vermindert die Aufkonzentrierungskosten erheblich und muss deswegen Ziel einer jeden Reaktorentwicklung sein.

Die Verfahren der Wertstoffextraktion und der Konfektionierung können weitgehend aus dem Bereich der Stoffwirtschaft übertragen werden. Der Erlös von Algenbiomasse oder ihren Produkten wird bestimmt durch deren Einsatzzweck. Hochwertprodukte, die im Kosmetik-, Pharma- oder Nahrungsmittel-Ergänzungsbereich eingesetzt werden können, ermöglichen eine schnellere Refinanzierung der Investition als eine Produktion von einfacher Algenbiomasse als Futtermittelzusatz, Dünger oder der Anwendung für die Energiegewinnung. Eine Kopplung von Hochwert- und Massenprodukt, wobei zuerst der Wertstoff extrahiert wird und die verbleibende Biomasse zusätzlich vermarktet werden kann, ist die rationellste Verwendung im Sinne der ökologischen und wirtschaftlichen Nachhaltigkeit<sup>13</sup>.

Produktgruppe	Produkte	Preis (US \$) [1]	Absatz (Mio. US \$) [2]	Entwicklung [2]
Biomasse	Nahrungsergänzungsmittel (Health & Functional Food)	40-80 /kg	2 050 – 3 300	steigend
	Futterzusatzmittel	10-130 /kg	300	stark steigend
	Aquakultur	50-150 /kg	700	stark steigend
	Düngemittel	> 10 /kg	-	aussichtsreich
2. Farbstoffe	Astaxanthin	> 3 000 /kg	< 150	> 280
	β-Carotin	> 750 /kg	> 10	> 2
	Phycocyanin	> 500 /g	steigend	aussichtsreich
	Phycocerythrin	>10 000/kg	stagnierend	stagnierend
3. Fettsäuren (Antioxidantien)	ARA (Arachidonsäure)		20	steigend
	DHA (Docosahexaen säure)	741 /kg*	1 500	stark steigend
	EPA (Eicosapentaensäure)	6250 /kg*		
	PUFA-Extrakte	30-80 /kg	10	

**Tabelle 3: Globaler Markt an Produkten aus Mikroalgen<sup>14</sup>**

<sup>13</sup> Produkte und Anwendungen der Mikroalgenbiotechnologie sowie die Nachhaltigkeit der phototropen Biotechnologie; Prof. Dr. Carola Griehl, Prof. Dr. Wolfgang Loettel, Prof. Dr. Otto Pulz und Dr. habil. Martin Kerner

<sup>14</sup> verändert nach Pulz et al. 2001[1] und Pulz & Groß 2004[2]; Markt 2007\*

## 6. Die einzelnen Märkte nach Produktart:

### 6.1 Biodiesel:

Je nach Standort, Kultivationsregime und ausgewählter Mikroalge ergibt sich in der Mikroalgenproduktion eine vielfach höhere Biomasseproduktivität im Vergleich zu anderen Landpflanzen die sonst üblicher Weise zur Biodieselproduktion eingesetzt werden (Pulz 2006).

Es wird geschätzt, dass Algen mehr Öl produzieren als jede andere momentan verwendete Ölsaart.

**Tabelle 4: Ertragsvergleich von Mikroalgen und konventionellen Nutzpflanzen in Bezug auf Protein und Ölproduktion<sup>15</sup>**

	Ertrag in Tonnen pro ha*a		
	TS	Protein	Öl
Mais	7 – 18	0,8 - 2	0,2
Sojabohne	6 – 7	1,8 - 2,5	0,5
Raps	3 – 4	0,6 – 1,3	1,2
Ölpalme	2 – 3	0,2	6,0
Miscanthus (Chinaschilf)	15 – 25		
Mikroalgen	30 – 550	15 - 70	46,9 - 140,7

Während beispielsweise Sojabohnen und Sonnenblumen 48 bzw. 102 Gallonen Öl pro Hektar und Jahr erzielen, können Mikroalgen 5.000 bis 15.000 Gallonen erreichen. Der 125 Mio. t pro Jahr umfassende Pflanzenölmarkt hat Wachstumsraten von 3 – 5 %<sup>16</sup>.

Allerdings ist eine Produktion von Mikroalgen nur zur Biodiesel Herstellung zurzeit mit geschlossenen Systemen nicht wirtschaftlich. Theoretisch ist dies allerdings mit einfacher und günstiger zu bauenden Open Ponds Systemen möglich. Die geringe Ausbeute die bei Open Pond Systemen im Vergleich zu geschlossenen Systemen erzielt werden kann, wird durch die hohe Produktivität der Mikroalgen in diesem Fall soweit ausgeglichen, dass eine Biodiesel Produktion annähernd wirtschaftlich ist. Dies erklärt auch das große Interesse der amerikanischen und australischen Regierung und Industrie stark in die entsprechende Forschung zu investieren.

Für Deutschland ist die Herstellung von Biodiesel aus Mikroalgen, aufgrund der klimatischen Verhältnisse nicht wirtschaftlich<sup>17</sup>.

Allerdings könnte nach der Ölextraktion die Algenbiomasse als weiteres Ausgangsmaterial, landwirtschaftlicher Dünger, für die Biomassenstromerzeugung etc. verwendet werden. Allein der Tierfuttermarkt umfasst 80 Mrd. AUD pro Jahr; die Hauptquelle, hoch proteinhaltiges Sojabohnenfutter, erzielt aktuell 450 AUD/mt<sup>13</sup>.

<sup>15</sup> verändert nach Soeder 2005, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Ecke 2004[\*]

<sup>16</sup> Due Diligence und Wertanalyse durchgeführt durch Arrowhead BID 23.03.2011

<sup>17</sup> Umweltbundesamt Dessau-Roßlau vom 26.08.2010

Die restliche Algenbiomasse mit ihrem hohen Kohlenhydrat- und Proteingehalt ist ein direkter Ersatz für landwirtschaftlich erzeugte Proteinquellen.<sup>18</sup>

## 6.2 Farbstoffe:

Farbstoffe sind weitere relevante Moleküle, die von Algen synthetisiert werden. Von Bedeutung sind zum Beispiel Phycocyanin und Phycoerythrin und die Carotinoide  $\beta$ -Carotin und Astaxanthin.

Der Farbstoff Phycocyanin ist die Ursache für die Blaufärbung der Cyanobakterien (früher „Blaualgen“). Es wird als Farbstoff verwendet, zum Beispiel für Kosmetika oder Lebensmittel, aber auch für Fluoreszenzfärbungen in den Biowissenschaften<sup>17</sup>.

Für die Herstellung der natürlichen Farbstoffe Phycocyanin und Phycoerythrin werden hauptsächlich die Cynobakterien *Spirulina* und *Aphanizomenon flo-aquae* verwendet. Die Carotenoide Beta-Caroten und Astaxanthin werden in großen Mengen durch die Spezies *Dunaliella* und *Haematococcus* synthetisiert<sup>19</sup>.

Die Alge *Dunaliella salina* hat in der Trockenbiomasse einen  $\beta$ -Carotin-Gehalt von bis zu 14 Prozent. Der Gesamtumsatz mit *Dunaliella* wird auf etwa 75 Millionen US-Dollar geschätzt, 60 Millionen entfallen auf Nahrungsergänzungsmittel<sup>20</sup>.

Unter den Produkten, die aus Mikroalgen isoliert und aufbereitet werden, ist Astaxanthin eines der wertvollsten. Der rötliche Farbstoff kann zum Beispiel durch *Haematococcus* hergestellt werden. Obwohl der Astaxanthinmarkt vom chemisch-synthetischen Astaxanthin beherrscht wird, gibt es für das natürliche Astaxanthin Interessenten. Sie sind bereit, hohe Preise für den Naturfarbstoff zu bezahlen<sup>17</sup>.

Die Gewinnung von Astaxanthin aus der Alge ist sehr aufwendig. Deshalb galt bisher die chemische Synthese allein als finanziell akzeptabel. Synthetisches Astaxanthin hat einen Marktwert von 2.000 \$/kg, das natürliche Produkt wird für mehr als 7.000 \$/kg verkauft. Israelische Mikrobiologen produzieren seit mehr als zehn Jahren erfolgreich Astaxanthin in Mikroalgenfarmen in der Wüste Negev. Inzwischen haben Chinesen Photobioreaktoren entwickelt, in denen die Produktion aus der *Haematococcus*-Alge ökonomisch mit der chemischen Synthese konkurrieren kann: Herstellungskosten sollen, nach eigenen Angaben, unter 1.000 \$/kg liegen<sup>21</sup>.

Aufgrund der hohen Preise für natürliches Astaxanthin wird *Haematococcus* zu fast 90 Prozent für die Extraktion von Astaxanthin verwendet.

Das natürliche Astaxanthin wird vor allem von denjenigen Unternehmen nachgefragt, die als Komponenten nur Naturprodukte akzeptieren. Abnehmer sind zum Beispiel Kosmetikhersteller, Nahrungsmittel- und Futterproduzenten. Etwa 85 Prozent des Astaxanthins werden für Nahrungsergänzungsmittel genutzt.<sup>22</sup>

<sup>18</sup> Due Diligence und Wertanalyse durchgeführt durch Arrowhead BID 23.03.2011

<sup>19</sup> Prof. Dr. Gerd Kloeck / Professor of Bioprocess Engineering / Hochschule Bremen – Bremen – Germany 25.08.2010

<sup>20</sup> BIOPRO Baden-Württemberg GmbH zu lesen auf „Das Biotechnologie und Life Sciences Portal Baden-Württemberg“ vom 25.02.2013

<sup>21</sup> Li J *et al.*: An economic assessment of astaxanthin production by large scale cultivation of *Haematococcus pluvialis*. Biotechnol Adv. 2011 Apr 9

### 6.3 Fettsäuren:

Mikroalgen sind in der Lage Fettsäuren zu synthetisieren. Vor allem essentielle mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFA: polyunsaturated fatty acids), die landläufig auch als Omega-3-Fettsäuren bezeichnet werden, wie z.B. Docosahexaensäure und Eicosapentaensäure deren Ernährungswert sehr hoch ist. Dementsprechend groß ist auch die Nachfrage. Kommerzielle Produkte sind Pillen, Kapseln, Extrakte oder Pulver oder sie werden als Zusätze zu Getränken oder Speisen verwendet. Das weltweite Verkaufsvolumen beträgt ca. 2,5 Milliarden US\$<sup>23</sup>.

PUFA werden zurzeit hauptsächlich aus Kaltwasserfischen oder neuerdings auch aus Krill gewonnen. Bei beiden Produkten ist eine geringe Produktakzeptanz bei verschiedenen Bevölkerungsgruppen zu finden. Zum einem, bei der Gruppe der Vegetarier/Veganer, aufgrund der tierischen Quelle und zum anderem, vor allem bei Fisch-PUFA, kann sich ein Großteil der Bevölkerung nicht mit dem fischigen Geschmack der PUFA anfreunden.

Aus diesem Grund geht der Trend dahin, ähnliche PUFA (z.B. ALA; Alpha-linolenic acid) aus Pflanzen zu extrahieren. Diese werden zwar von den eben genannten Gruppen akzeptiert, haben aber einen deutlich geringeren Ernährungswert im Vergleich zu den Fisch-PUFA.

Vergleicht man hingegen die Algen und die Fisch-PUFA wird deutlich, dass es sich um genau die gleichen PUFA's handelt, was nicht überrascht, da die Fisch-PUFA nicht durch Fische selber gebildet, sondern über das Futter (nämlich Mikroalgen) aufgenommen werden.

Algen-PUFA hätten also die Vorteile der Fisch-PUFA ohne dieselben Nachteile zu besitzen.

### 6.4 Nahrungsergänzungsmittel (NEM)

Der Markt für Nahrungsergänzungsmittel ist in Deutschland in den letzten Jahren durch Umsatz- und Strukturveränderungen vor allem seit Inkrafttreten der Nahrungsergänzungsmittelrichtlinie gekennzeichnet. Speziell das Interesse der Bio-Kunden an NEM ist stark gewachsen. Dementsprechend groß sind die Umsatzzuwächse, aber auch die immer größer werdende Zahl an Einzelprodukten und Wirkstoffen, die mit mehr oder weniger glaubwürdigen Beschreibungen auf den Markt kommen.

Anders als bei Arzneimitteln ist der Markt für Nahrungsergänzungsmittel weniger stark reguliert, daher werden Verbrauchersicherheit und kompetente Beratung auch bei Nahrungsergänzungsmitteln immer wichtiger.

Italien und Deutschland bilden derzeit die größten Märkte für Nahrungsergänzungsmittel in der Europäischen Union, für die ein Umsatzvolumen von über sechs Milliarden EURO geschätzt wird<sup>24</sup>. Besonders schnell entwickelt sich die Nachfrage nach NEM in den osteuropäischen EU-Mitgliedsstaaten, aber auch die weitgehend gesättigten Märkte der westlichen EU-Mitgliedsstaaten wachsen noch um etwa fünf Prozent jedes Jahr. Den sehr diversifizierten NEM-Markt abzubilden ist sehr schwierig, zumal die Gunst der Konsumenten zum Teil gewissen Moden und Trends in der Yellow Press unterworfen ist; wodurch die Konsumenten immer häufiger zu neuen Stoffkategorien wechseln.

Bezogen auf den Umsatz sind in Deutschland noch immer die Apotheken die wichtigsten Verkaufsstätten für NEM.

---

<sup>23</sup> Prof. Dr. Gerd Kloeck / Professor of Bioprocess Engineering / Hochschule Bremen – Bremen – Germany  
25.08.2010

<sup>24</sup> Loeck; 2007



Nach Aussagen der Hersteller handelt es sich bei den Käufern klassischerweise um qualitäts- und ernährungsbewusste Verbraucher, die eine ganzheitliche Nahrungsergänzung in besonderen Lebenslagen suchen; also in der Schwangerschaft, bei nervlicher und sportlicher Belastung oder generell zur Bereicherung der Ernährung.

Dauerbrenner sind Antioxidantien. In der großen Zahl der Wirkstoffe und pflanzlichen Rohstoffe haben sich in den letzten Jahren all jene behauptet, die reich an Antioxidantien sind<sup>25</sup>.

Weil *Spirulina* in der Trockenmasse bis zu 70 Prozent Protein enthält und reich an Vitamin B12 ist, werden 97 Prozent der weltweiten *Spirulina*-Produktion als Gesamtbioasse verwendet. Einsatzbereiche sind Futter, Nahrungs- und Nahrungsergänzungsmittel. 75 Prozent der Spirulinaprodukte werden von Menschen verzehrt<sup>23</sup>.

Auch aus *Chlorella* werden Nahrungs-, Nahrungsergänzungsmittel und Tierfutter gewonnen. Weltweit züchten Chlorellaproduzenten geschätzt rund 5.000 Tonnen pro Jahr<sup>23</sup>.

**Tab.5: Ausgewählte Mikroalgen und ihre Inhaltstoffe im Vergleich zu konventionellen Nahrungsmitteln (in % der Trockensubstanz)<sup>26</sup>**

	Proteine	Kohlenhydrate	Lipide
Alge			
Arthrospira ( <i>Spirulina</i> ) maxima	60 - 71	13 - 16	6 - 7
Chlorella vulgaris	51 - 58	12 - 17	14 - 22
Dunaliella salina	57	32	6
Chlamydomonas reinhardtii	48	17	21
Konventionelle Quellen			
Sojabohne	35	25	25
Reis	8	77	2
Bäckerhefe	39	38	1
Milch	26	38	28

## 6.5 Sonstige

Weitere kommerziell genutzte Inhaltsstoffe sind die Eisen-Schwefel-Proteine Thioredoxin und Ferredoxin. Der Anteil an *Spirulina*, der für die Produktion von chemischen Verbindungen genutzt wird, ist aber verschwindend gering.<sup>27</sup>

Weiter mögliche Anwendungsgebiete finden sich z.B. in der Abwasserreinigung, und als Tierfutter vor allem in der Aquakultur.

<sup>25</sup> bioPress Website 31.10.2008

<sup>26</sup> Spolaore 2006

<sup>27</sup> BIOPRO Baden-Württemberg GmbH zu lesen auf „Das Biotechnologie und Life Sciences Portal Baden-Württemberg“ vom 25.02.2013

## 6.6. Fazit:

Die landbasierte Produktion von Mikroalgen findet aktuell insbesondere für die Produktion von hochwertigen Produkten (Nahrungsergänzungsmittel, Medizin, Kosmetik) statt. **Im Vergleich zu den anderen Nutzungsmöglichkeiten scheint die Gewinnung von Wertstoffen aus Algen zurzeit noch erfolversprechender. Sie könnten einen wichtigen Beitrag zur Ernährung und Vitaminversorgung der Menschheit beisteuern.** Neben Eiweiß enthält die Süßwasseralge *Chlorella* bspw. Mineralien, Calcium, Magnesium, Zink, Eisen, Selen, das gesamte Spektrum der essentiellen Aminosäuren, wertvolle Fettsäuren (70 Prozent davon ungesättigt) und fast alle Vitamine. Die Gesamtheit der Inhaltsstoffe hat vielfältige gesundheitsfördernde Effekte. Die Herstellung dieser hochwertigen Produkte rechnet sich im Hinblick auf die Investitionen im Moment noch eher als die anderen Nutzungsmöglichkeiten von Algen<sup>28</sup>.

## 7. Mitbewerber:

### 7.1 NOVAgreen

Die NOVAgreen - Projektmanagement GmbH ist ein kleiner Familienbetrieb im Raum Vechta. Das dort genutzte Reaktorsystem entspricht zu großen Teilen unserem System. Die Firma kann einige Jahre Erfahrung in der Kultivierung von Mikroalgen durch ihren Firmengründer und Geschäftsführer Dipl. Ing. Rudolf Cordes vorweisen. Einige Pilotprojekte wurden schon realisiert. Das zurzeit größte durch die NOVAgreen betriebene Gewächshaus wurde 2009 gebaut und hat eine Größe von ca. 100 m<sup>2</sup>. Die produzierten Mikroalgen werden in der Regel als Rohmasse an lokale Apotheken verkauft. Eine Eigenmarke ist nicht vorhanden.

Der Fokus der Firma liegt, nach eigenen Angaben, im Verkauf der Technologie.

### 7.2 Subitec

Die Subitec GmbH mit Sitz in Stuttgart wurde 2000 als Spin-Off des Fraunhofer Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) gegründet. Im Jahr 2007 wurde das operative Geschäft aufgenommen und erste Investoren geworben. (u.a. durch eCapital, Münster)

Laut eigenen Angaben liegt der Fokus der Geschäftstätigkeit bei der Vermarktung der Technologieplattform und der Übernahme von Auftragsproduktionen.

Bei der Technologieplattform handelt es sich um einen weltweit patentierten Flat Panel-Airlift-Photobioreaktor. Subitec kann schon mehrere kleine Pilotprojekte vorweisen (z.B. die Pilotanlage in Kooperation mit der EnBW AG in Eutingen im Gäu, Ortsteil Weitingen; Gesamtvolumen: 4,32 m<sup>3</sup>). Mikroalgen wurden allerdings noch nicht im industriellen Maßstab produziert bzw. die bisherige Produktion diente der Testung des Systems, hergestellte Mikroalgen wurden nicht vermarktet.

Bei der verwendeten Technologie handelt es sich um speziell hergestellte Plastikplatten die zwar kostengünstiger sind als Glasreaktoren, aber aufgrund der schwierigen Herstellung immer noch recht kostenintensiv. Außerdem werden, aufgrund des geringen Volumens der Reaktoren, sehr große Flächen benötigt. Positiv an diesem System ist eine vergleichsweise hohe Ausbeute an Biomasse.

---

<sup>28</sup> Umweltbundesamt Dessau-Roßlau vom 26.08.2010

### 7.3 IGV

Beim IGV handelt es sich eigentlich um eine Forschungseinrichtung in Potsdam, dem Institut für Getreideverarbeitung GmbH. Im Rahmen der biotechnologischen Forschung wurden Photobioreaktoren mit einer hohen Biomasse- Ausbeute entwickelt. Allerdings handelt es sich dabei um sehr teure Laborbioreaktoren, deren Nutzung in einem industriellen Maßstab so gut wie nicht ökonomisch realisierbar ist.

Die im Laufe der Forschung produzierten Mikroalgen (*Spirulina* und *Chlorella*) werden als NEM oder Kosmetikartikel als Eigenmarke (Aquaflor™) vertrieben.

Da es sich um eine Forschungseinrichtung handelt, ist mit einer Mikroalgenproduktion im industriellen Maßstab hier nicht zu rechnen.

### 7.4 Roquette

Roquette ist ein großer französischer Produzent für Stärke und Nahrungsergänzungsmittel die verschiedene Produkte in diesem Bereich herstellen und vertreiben. Durch den Kauf der Prof. Steinberg Co KG in Klötze Sachsen-Anhalt, sind sie nun im Besitz der bislang größten Mikroalgen Produktionsanlage in Deutschland. Die Anlage (siehe Kapitel 4.2.6) produziert auf ca. 1 Hektar ca. 130 t *Chlorella* pro Jahr und verkauft die Produktion als Eigenmarke unter dem Name Algomed™ im Online Versandhandel und über die Vertriebswege der Roquette Gruppe.

Die ursprüngliche Anlage wurde mit einem sehr hohen Investitionsaufwand im Jahre 2000 gebaut. Grund für die hohen Investitionskosten ist das sehr teure Produktionssystem, dass aus 500 km Glasröhren besteht.

Aufgrund der sehr hohen anfänglichen Investitionskosten und der sehr hohen laufenden Kosten, die auch in der Art des Produktionssystems begründet liegen, musste die Prof. Steinberg Co KG Insolvenz anmelden. Nach der Übernahme durch die Roquette Gruppe scheint die Anlage schwarze Zahlen zu schreiben.

Algomed™ Produkte sind im Handel für 250 €/kg erhältlich. Aufgrund des Produktionssystems ist nur die Produktion von *Chlorella vulgaris* möglich.

Es sind keine Bestrebungen bekannt, die Produktionskapazitäten zu erhöhen.